О современных изменениях климата.

Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова

Введение.

Предлагаемый краткий очерк содержит ответы на некоторые часто задаваемые вопросы о климате и его изменениях. Чаще всего количество запросов о климате резко возрастает после появления в средствах массовой информации сообщений о каких-либо экстремальных явлениях в атмосфере и океане типа штормов, наводнений или засух, а также о катастрофах, причиной которых могли бы быть грозные явления природы. Обычно спрашивают, не связано ли то или другое событие с опасными "изменениями климата", с "глобальным потеплением", о которых все наслышаны, хотя немногие ясно представляют, что это такое.

Прежде всего, уточним определения понятий "*климат", "климатическая переменная" и "изменение климата"*.

Погода определяется как физическое состояние атмосферы в заданной точке земного шара в заданный момент времени. Характеристиками состояния атмосферы являются, в частности, температура воздуха, давление, скорость ветра, влажность, осадки, солнечное сияние и облачность, а также такие явления, как туман, иней, град и другие погодные переменные (элементы погоды).

Климат в узком, но широко распространенном смысле, есть обобщение изменений погоды, и представляется набором условий погоды в заданной области пространства в заданный интервал времени. Для характеристики климата используется статистическое описание в терминах средних, экстремумов, показателей изменчивости соответствующих величин и повторяемостей явлений за выбранный период времени. Все эти дескриптивные статистики называются *климатическими переменными*.

Наиболее важными и популярными климатическими переменными, часто используемыми как индикаторы состояния и изменения климата, являются температура воздуха у поверхности земли и атмосферные осадки.

В современных исследованиях термин "Климат" используется также вместо термина Глобальный Климат, который характеризуется набором состояний Глобальной Климатической Системы в течение заданного интервала времени. Глобальная климатическая система состоит из пяти основных компонентов: атмосферы, гидросферы, криосферы, поверхности континентов и биосферы, взаимодействие которых существенно влияет на колебания погоды за длительные промежутки времени.

Спектр изменений метеорологических и океанологических величин является непрерывным; как для большинства непериодических процессов, плотность его стремится к бесконечности лишь для периодических составляющих и их гармоник - годовой и суточной компонент.

Опираясь на предложенную академиком А. С. Мониным наиболее полную классификацию колебаний метеорологических и океанографических параметров в зависимости от их масштабов, полезно принять следующую практическую классификацию масштабов изменчивости характеристик климатической системы.

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

1. Микрометеорологическая изменчивость - от долей секунды до минут;
2. Мезометеорологическая изменчивость - от нескольких минут до часов;
3. Изменчивость, соответствующая синоптическим процессам, - от нескольких часов до двух-трех недель. Внутри этого интервала масштабов возможно индивидуальное прогнозирование и описание основных синоптических объектов, которые характеризуют погоду и ее изменения. За верхнюю границу интервала часто принимают масштаб предсказуемости индивидуальных синоптических процессов, который оценивается в две-три недели;
4. Климатическая изменчивость - от трех недель до нескольких десятилетий. Изменчивость этого масштаба, принятого нами за внутренний временной масштаб климатической системы, характеризует внутриклиматические колебания, или климатическую изменчивость, или флуктуации климата;
5. Межвековая изменчивость;
6. Изменчивость в масштабах тысячелетий;
7. Изменчивость, соответствующая ледниковым периодам.

Предложенное выше определение климата позволяет использовать в качестве климатических переменных любые статистические характеристики любых параметров состояния климатической системы для некоторого заданного интервала времени. Необходимо только точно указывать, какая характеристика и для какого интервала рассматривается.

Изменение климата для заданной области или для Земного шара в целом характеризуется разностью между некоторыми климатическими переменными для двух заданных интервалов времени. Это изменение может считаться реальным, если оно превосходит вероятную ошибку вычисления соответствующих климатических переменных.

Изменения климата могут быть следствием как естественных внутренних и внешних причин, так и следствием человеческой деятельности. В Статье 1 Рамочной Конвенции по Изменению Климата (РКИК) ООН "изменение климата" определяется более узко как "изменение климата, которое прямо или косвенно приписывается человеческой деятельности, меняющей состав глобальной атмосферы, и является добавкой к естественной климатической изменчивости для сравниваемых периодов времени". Таким образом, РКИК ООН делает различие между "изменениями климата", приписываемыми человеческой деятельности, меняющей состав атмосферы, и "климатической изменчивостью", приписываемой влиянию естественных причин. Данные наблюдений позволяют оценивать только суммарные изменения климата вследствие как естественных, так и антропогенных причин. Выявление этих причин является сложной задачей, решаемой в настоящее время с помощью климатических моделей. Мы рекомендуем использовать данное выше более общее определение изменений климата, как это делается в научных исследованиях.

Таким образом, для научного анализа климатической изменчивости и изменений климата могут использоваться любые климатические переменные, а для оценки отклонений от средних любые базовые периоды.

Климат в наши дни

В качестве стандартного периода для оценивания климатических переменных, характеризующих текущий или современный климат, по рекомендации Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) используется период в 30 лет. В настоящее время это 1961 – 1990 годы. Термин "*норма*" по умолчанию означает среднее значение переменной величины именно за указанный период, а отклонение этой величины от "нормы" называют "*аномалией*".

Климатические нормы вычисляются для различных метеорологических величин и включаются в специальные справочники и информационные системы. Периодически издаются климатологические карты и атласы. Обычно это малотиражные и труднодоступные издания. Здесь на рисунках приводятся карты климатических норм для самых важных величин: температуры воздуха и атмосферных осадков. Данные для этих карт, в частности, собраны и проанализированы в Исследовательской группе Университета Восточной Англии под руководством Ф. Джонса и доступны через интернет для всеобщего использования (http: // ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk).

По этим данным построены карты норм температуры воздуха и суммы атмосферных осадков в январе и июле, приведенные на Рис. 1 и Рис. 2. Величины определяются по цветовой шкале помещенной на каждом рисунке.

Читателю рекомендуется внимательно ознакомиться с этими картами и сохранить их, так как они содержат богатый справочный материал о климате любой точки на земле.

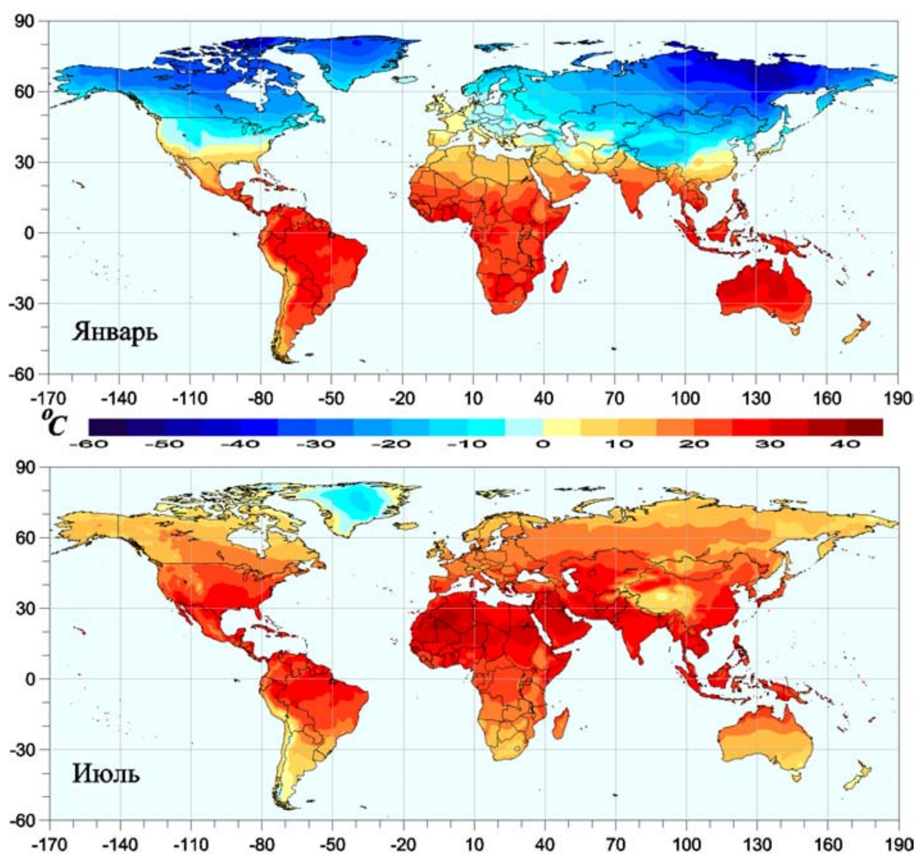


Рис. 1. Многолетняя Средняя месячная температура воздуха в январе и июле (^{0}C), 1961-1990.

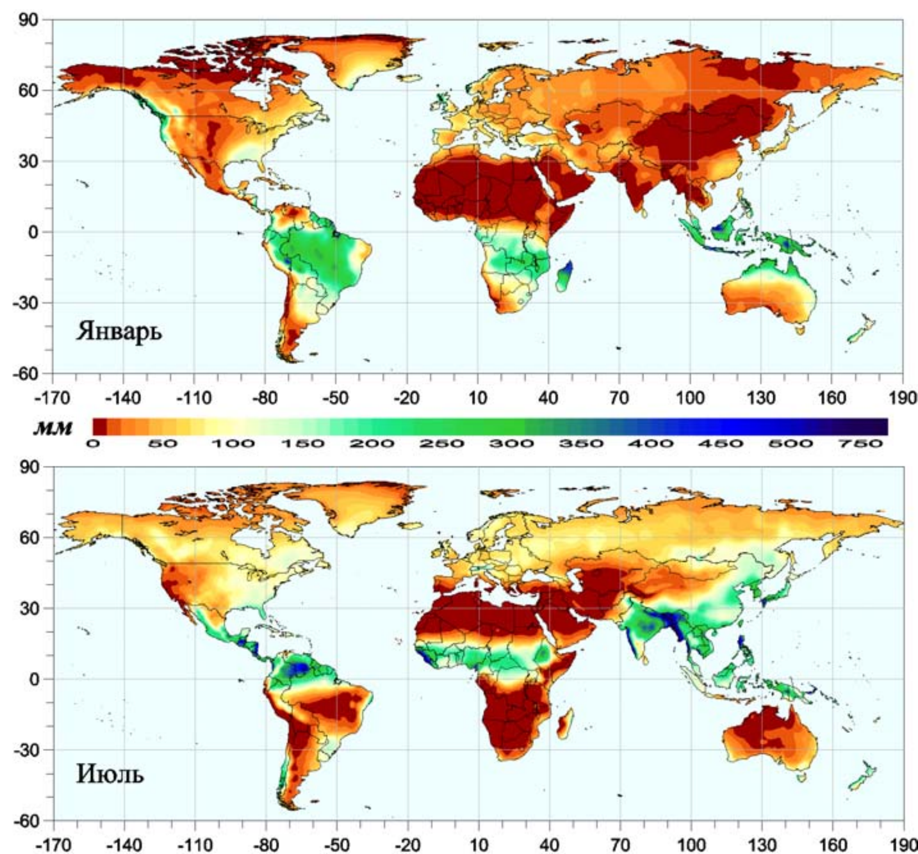


Рис. 2. Многолетние месячные суммы атмосферных осадков в январе и июле (мм/мес.), 1961-1990.

Изменения климата

Нет сомнений, что климат в прошлом менялся, и эти изменения не выходили за пределы опасные для существования жизни на Земле.

Наиболее достоверно изменения климата могут быть оценены по данным инструментальных наблюдений на сети гидрометеорологических станций. Средняя глобальная температура воздуха у поверхности (ТВП) может быть оценена по приземной температуре воздуха над континентами и температуре поверхности океана (ТПО) приблизительно с 1861 г. (см. Рис. 3). Поскольку эта температура оценивается не точно, на графике показаны вертикальные отрезки, внутри которых с вероятностью 95% находятся точные значения. Подобная неопределенность наших знаний присутствует на всех этапах изучения климата.

В течение 20-го века глобальная ТВП увеличилась на $0.6^0C \pm 0.2^0C$. Однако во временном ряду ТВП обнаруживается значительная неоднородность во времени и пространстве. В частности, периоды наибольшего потепления в 20-м столетии были с 1910 по 1945 гг. и с 1976 по 2000 гг., а между ними наблюдалось некоторое похолодание.

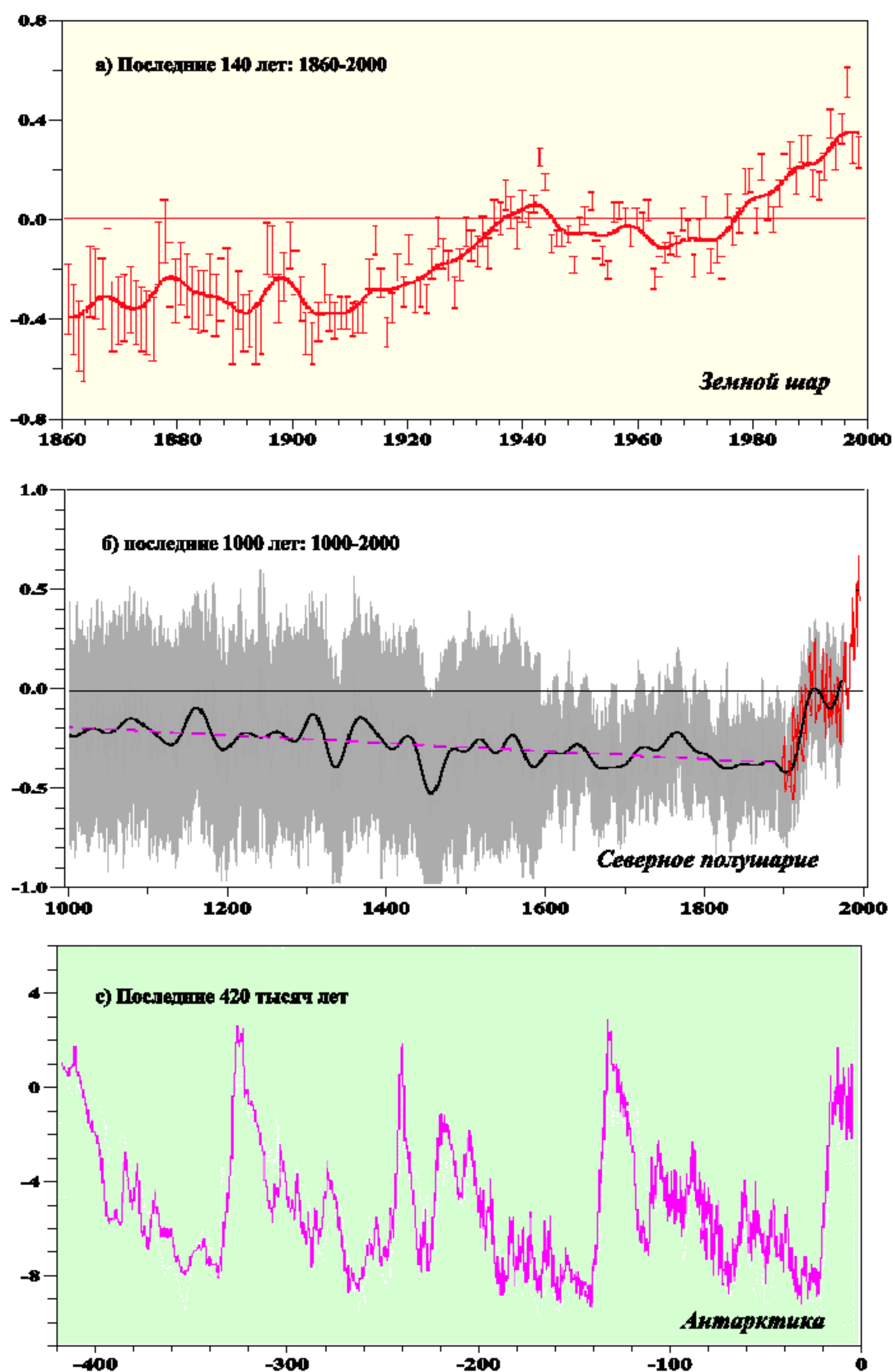


Рис. 3. Изменения температуры у земной поверхности.

а – за 140 лет показаны 95%-доверительные интервалы средней по земному шару годовой температуры по данным инструментальных наблюдений;

б – для Северного полушария за последнее тысячелетие по косвенным данным и за последние 140 лет по данным инструментальных наблюдений;

в – для района Антарктики за последние 450 тысяч лет по косвенным данным, полученным при бурении льда на станции Восток.

Современный анализ косвенных данных о ТВП Северного полушария показывает, что величина потепления 20-го века была больше, чем в любое столетие прошедшего тысячелетия. 90-е годы были самым теплым десятилетием, а 1998 г. – самым теплым годом. Данных наблюдений недостаточно для оценки годовых ТВП Северного полушария ранее, чем 1000 лет тому назад, и Южного полушария – до 1861 г.

В связи с тем, что наблюдаемое изменение климата обнаружилось в первую очередь в увеличении температура воздуха у поверхности земли почти всюду и в среднем для Земного Шара, это явление получило название "Глобального Потепления". Осознание серьёзности этого факта и его потенциальной опасности привело к учреждению Всемирной климатической программы, организации Межправительственной Группы Экспертов по Изменениям Климата (МГЭИК) и принятию Рамочной Конвенции по Изменениям Климата в ООН.

Последний Третий Отчет МГЭИК об оценках изменений климата, в подготовке которого авторы принимали участие, широко использован при подготовке настоящей статьи.

В период с 1950 по 1993 гг. ночные минимальные значения температуры воздуха над сушей росли примерно на 0.2^0C за десятилетие. Это примерно вдвое больше, чем рост дневных максимальных температур (0.1^0C на десятилетие). Это привело к удлинению безморозного периода во многих районах в средних и высоких широтах. Рост температуры поверхности океана в этот период был примерно вдвое меньше, чем в среднем для ТВП над сушей.

Наблюдающееся в 20 веке глобальное потепление проявляется во всех регионах России. За столетие потепление для территории России в целом составило около 1^0C. После 1970 г. тренд потепления составил около 4^0C/100 лет. Потепление более заметно зимой и весной и почти не наблюдается осенью (в последнее 30-летие произошло даже некоторое похолодание в западных регионах). Потепление происходило более интенсивно к востоку от Урала.

По данным радиозондирования, температура нижнего 8-километрового слоя атмосферы с конца 1950-х годов росла, подобно ТВП, примерно на 0.1^0C за десятилетие. В стратосфере в это время отмечено похолодание. (См. Рис. 4) Средняя по высоте температура воздуха почти не менялась. С этой точки зрения термин "глобальное потепление" не вполне точен, лучше говорить о "потеплении у поверхности".

Спутниковые данные показывают, что, начиная с конца 60-х годов, произошло уменьшение площади снежного покрова примерно на 10 %, а наземные данные показывают, что в течение 20-го столетия произошло уменьшение примерно на 2 недели продолжительности существования ледяного покрова на реках и озерах в средних и высоких широтах Северного полушария. В 20-м веке наблюдалось повсеместное отступление горных ледников в неполярных районах.

В северном полушарии с 1950-х годов площадь морского льда в весенний и летний периоды сократилась почти на 10-15%. Произошло также уменьшение толщины морского льда на 40% с конца лета и до начала осени, но в зимний период толщина льда уменьшалась значительно медленнее.

В течение 20-го века средний уровень моря поднялся на 0.1-0.2 м. Весьма вероятно, что это объясняется, как минимум, тепловым расширением морской воды и повсеместным таянием материкового льда, связанным с потеплением. В

период с конца 50-х годов, когда появились надежные наблюдения за температурой нижних слоев океана, теплосодержание океана возрастало.

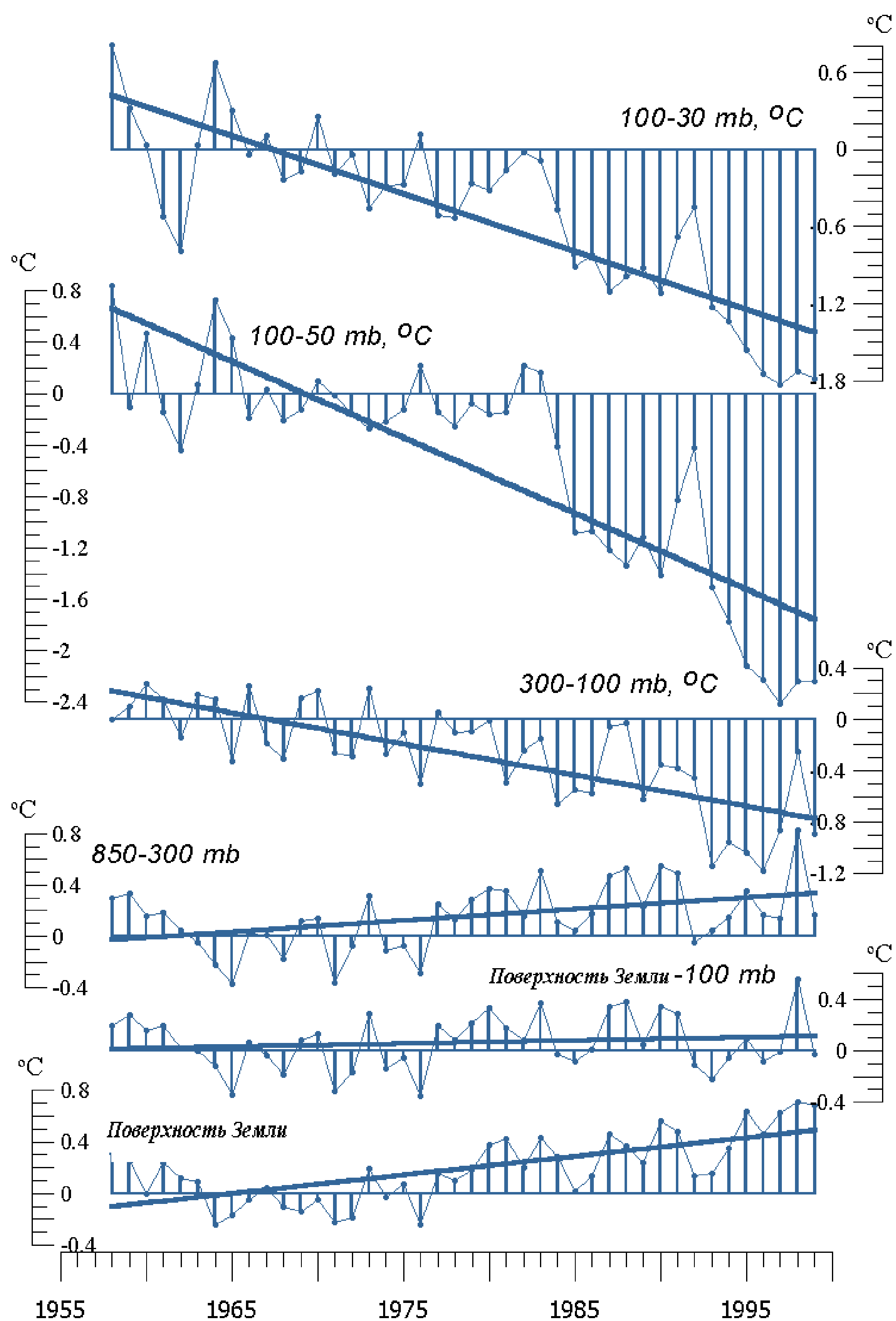


Рис. 4 Изменения температуры воздуха в свободной атмосфере.

Атмосферные осадки в 20-м столетии росли на 0.5-1% за десятилетие в большинстве районов высоких и средних широт Северного полушария, при этом во второй половине века несколько возрастала повторяемость сильных осадков. Вероятно, что примерно на 0.2-0.3% за десятилетие осадки увеличивались и над тропическими зонами континентов (от 10^0 с.ш. до 10^0 ю. ш.), но рост осадков в тропиках в течение нескольких последних десятилетий не очевиден. Над субтропиками Северного полушария между 10^0-30^0 с.ш. в течение 20-го века осадки убывали примерно на 3% за десятилетие. В противоположность Северному полушарию, в большинстве широтных зон Южного полушария никаких достаточно систематических изменений осадков не было обнаружено. Нет достаточных данных, чтобы установить тренды в осадках над океанами.

С 1900 по 1995 гг. на континентах не обнаружено монотонных трендов в повторяемости сильных засух или периодов переувлажнения, хотя их повторяемость существенно меняется в масштабах десятилетий. В некоторых районах Азии и Африки повторяемость и интенсивность засух увеличивалась в последнее десятилетие.

Во второй половине 20-го века уменьшилась повторяемость экстремально низких температур и несколько увеличилась повторяемость экстремально высоких температур.

Начиная с 50-х годов, теплые эпизоды Эль-Ниньо – Южного Колебания, являющиеся причиной суровых засух и периодов переувлажнения в странах вокруг тропической зоны Тихого океана, стали более частыми, более устойчивыми и более интенсивными по сравнению с предшествующими 100 годами.

В то же время некоторые области земного шара, в частности, районы океанов Южного полушария и части Антарктики не стали теплее в последнее десятилетие. Отсутствовали значимые тренды в протяженности антарктических морских льдов, начиная с 1978 г., когда появились надежные спутниковые измерения.

По ограниченным данным не было обнаружено трендов в интенсивности и частоте тропических и внетропических циклонов во второй половине 20-го столетия, хотя значительные флуктуации наблюдались в масштабах десятилетий.

Причины изменений климата – естественные и антропогенные.

Исследования современных изменений климата должны дать ответы на следующие вопросы: 1) какие изменения действительно происходят, 2) на сколько хорошо мы понимаем прошлый и современный климат и наблюденные изменения, 3) какие изменения климата предстоят в будущем.

Основным методом обнаружения изменений климата по данным наблюдений является статистический анализ. Ответить же на второй и третий вопросы о том, каким причинам следует приписать обнаруженные изменения и какие изменения климата предстоят в будущем, может помочь только исследование климатических процессов с помощью физико-математических Глобальных Климатических Моделей (ГКМ).

Большинство климатологов в настоящее время связывают рост приземной температуры в 20 веке (см. Рис. 3а) с усилением парникового

эффекта, в связи с увеличением концентрации в атмосфере парниковых газов (в первую очередь, двуокиси углерода) за счет человеческой деятельности (антропогенный фактор!).

Парниковый эффект атмосферы связан с тем, что в атмосфере содержатся парниковые газы, поглощающие тепловое инфракрасное излучение земной поверхности. Основными парниковыми газами в атмосфере являются водяной пар, двуокись азота (углекислый газ), озон, метан и окись натрия. Суммарное радиационное воздействие зависит от концентрации каждого парникового газа, от их радиационных свойств и концентрации других парниковых газов, присутствующих в атмосфере. Для теплового равновесия Земли она должна терять в мировое пространство столько тепла, сколько получает его от Солнца. Интенсивность теплового излучения зависит от температуры поверхности. В отсутствии атмосферы земля излучала бы необходимое количество тепла при температуре поверхности -18^{0}С. Для преодоления задержки излучения в атмосфере требуется более высокая температура. В настоящее время это около 15^{0}С. Таким образом суммарный парниковый эффект атмосферы составляет 33^{0}С. Наблюдаемое увеличение температуры в 20 веке, связанное с усилением парникового эффекта порядка градуса составляет малую долю существующего парникового эффекта. Это повышает требования к точности расчетов и измерений.

Концентрация углекислого газа в атмосфере с 1750 г. по настоящее время возросла на 31% в результате сжигания органического топлива в процессе деятельности человека. Столь высокого уровня она не достигала ни разу в последние 420 тыс. лет, а возможно, и в последние 20 млн. лет. Текущая скорость возрастания концентрации углекислого газа была беспрецедентной в течение, по крайней мере, последних 20 тыс. лет.

Что касается циклического чередования ледниковых и межледниковых периодов (см. Рис. 3в), оно объясняется изменениями в орбите движения Земли относительно Солнца. Эти представления сформировались в девятнадцатом столетии, но продвинутая теория была разработана югославским астрономом Миланковичем (Milankovitch) лишь в начале двадцатого столетия.

Астрономический теория Миланковича объясняет изменения климата периодичностями в изменениях эксцентриситета земной орбиты, наклона оси вращения и изменения ее направления (прецессии) при движении Земли вокруг солнца (с периодами соответственно 96000, 41000, и 23000 лет). Суммарно эти циклы приводят к периодичности в количестве солнечной радиации, получаемой поверхностью Земли в каждой широтной зоне. Задача усложняется тем, что континенты неравномерно распределены на поверхности Земли.

Первоначально теория была скептически встречена большинством метеорологов и геологов. И только в 1950-ые и 1960-ые, когда были накоплены палеоклиматические данные, мнение ученых склонилось в пользу этой теории.

Ожидаемые антропогенные изменения климата.

Известно, что предсказуемость поведения системы океан-атмосфера ограничена 2 - 3 неделями. Но, хотя динамическая система океан-атмосфера чувствительна к малым возмущениям и потому неустойчива, медленно меняющиеся компоненты этой системы могут быть предсказуемы на более значительных временных масштабах. Чтобы исключить влияние начальных

условий и особенности конкретной ГКМ, практикуются расчеты от разных начальных условий и с разными ГКМ. Получается целый ансамбль решений и задача сводится к расчету изменений вероятности климатических состояний на основе таких расчетов. В случае успеха можно будет считать, что климат предсказуем на десятилетия и более. Подтверждением этому служит успешное воспроизведение трендов 20-го столетия, обусловленных воздействиями естественного и антропогенного характера, помощью нескольких ГКМ. Это позволяет надеяться, что можно оценить предстоящие изменения климата. Но для этого надо знать, как будущие выбросы, так и изменения концентрации парниковых газов.

Силами МГЭИК был разработан набор сценариев будущих выбросов парниковых газов в атмосферу в 21-м столетии. Сюжетные линии сценариев основаны на различных гипотезах о будущем мировом развитии. Мировое развитие определяется демографическими, экономическими и технологическими факторами, от которых, в свою очередь, зависит интенсивность использования ископаемого топлива и выбросы в атмосферу парниковых газов и аэрозолей. Модели углеродного цикла позволяют рассчитать изменения концентрации парниковых газов, соответствующих каждому сценарию, которые называют проекциями в отличие от прогнозов, поскольку неизвестно какой сценарий осуществится в действительности.

Затем для каждой проекции концентрации парниковых газов уже с помощью многих имеющихся ГКМ выполняются многократные интегрирования, позволяющие получить проекции для всех сценариев и для каждого в отдельности в терминах температуры, осадков и других климатических переменных. На Рис. 5 приведены примеры таких расчетов для трех сценариев. (Единицы концентрации парниковых газов *ppm* (parts per million) и *ppb* (parts per billion) – отношения числа молекул парникового газа к общему числу молекул в сухой атмосфере.)

Согласно расчетам с использованием ГКМ и полного набора сценариев, в течение 1990-2100 гг. повышение средней глобальной ТВП может составить от 1.5^0C до 5.8^0C. Такое потепление не имеет прецедентов в течение последних десяти тысяч лет!

Уровень мирового океана может повыситься от 0.09 до 0.88 м.

Следует подчеркнуть, что диапазон возможных изменений очень велик, так как использован большой набор допустимых сценариев эмиссии парниковых газов. Какой сценарий осуществится в действительности, зависит в значительной мере от стратегии человечества.

О том, как ожидаемые изменения могут быть распределены в пространстве, можно судить по проекциям возможных изменений температуры воздуха (Рис. 6) и атмосферных осадков (Рис. 7) к 2050 году. Эти результаты получены с помощью модели английской метеослужбы для сценария "обычная практика", в соответствии с которым не будут предприниматься специальные меры по изменению эмиссии парниковых газов.

Более или менее уверенно можно говорить о более интенсивном потеплении суши, по сравнению с поверхностью Земли в целом, – в частности, в высоких широтах в холодное время года. Потепление в северных регионах Северной Америки и в северной и центральной частях Азии превышает средние глобальные оценки на 40%, в то время как в южной и юго-восточной Азии летом и в Южной Америке зимой потепление оказывается меньшим средне-глобального.

Осадки, вероятно, возрастут во внетропических широтах Северного полушария и в Антарктиде зимой. В низких широтах возможны как усиление, так и ослабление осадков, в зависимости от сценариев выбросов.

Большинство ГКМ указывают на возрастание максимальных и минимальных значений температуры, увеличение числа жарких дней – практически для всей суши; рост количества случаев интенсивных осадков – для многих регионов суши во внетропических широтах Северного полушария, уменьшение числа холодных дней – практически для всей суши, сокращение амплитуды суточного хода температуры – для большинства регионов суши. Относительно возможных изменений ряда других экстремальных явлений (например, штормов в средних широтах) современные ГКМ не позволяют делать уверенных предположений. А некоторые из явлений сравнительно мелкого масштаба (например, грозы, торнадо, град, молнии) попросту не воспроизводятся современными ГКМ. Оценки будущих изменений Эль-Ниньо (в ряде ГКМ тенденции к усилению сохраняются) в настоящее время следует считать лишь предварительными.

Следует отметить, что масштаб ожидаемых изменений климата, в частности температуры, за половину столетия (порядка градуса) значительно меньше, чем изменения в пространстве между тропиками и полюсами, между зимой и летом и даже между ночью и днём. Такие изменения температуры человек вряд ли заметит в своей повседневной практике. Для обнаружения таких малых изменений необходимы сложные изощренные методы исследований и данные высококачественных наблюдений.

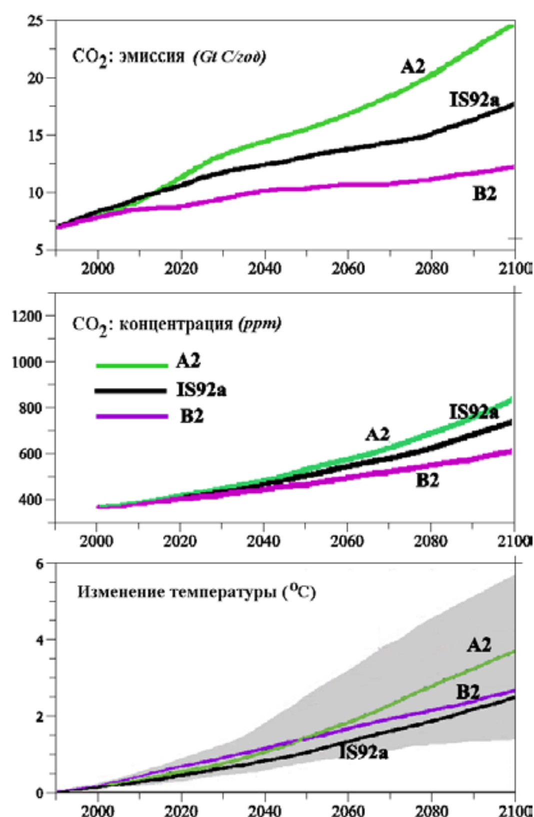


Рис. 5 Ожидаемые изменения эмиссии (вверху), концентрации (в середине) парниковых газов (в единицах эквивалентной концентрации углекислого газа) и глобально осредненной температуры приземного воздуха (внизу).

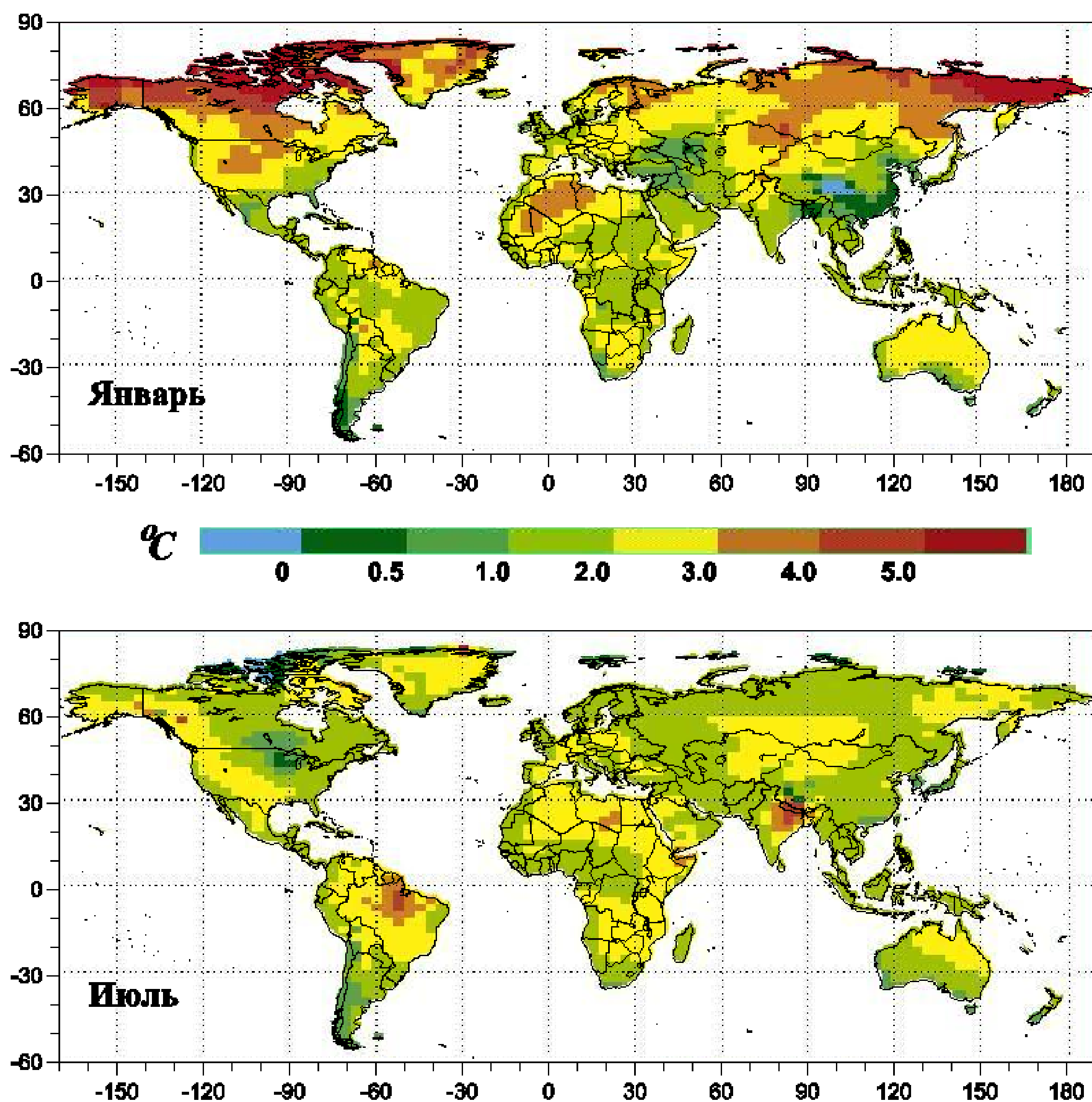


Рис. 6 Оценка ожидаемых изменений температуры воздуха к 2050 году по отношению к нормам за 1961 – 1990 годы.

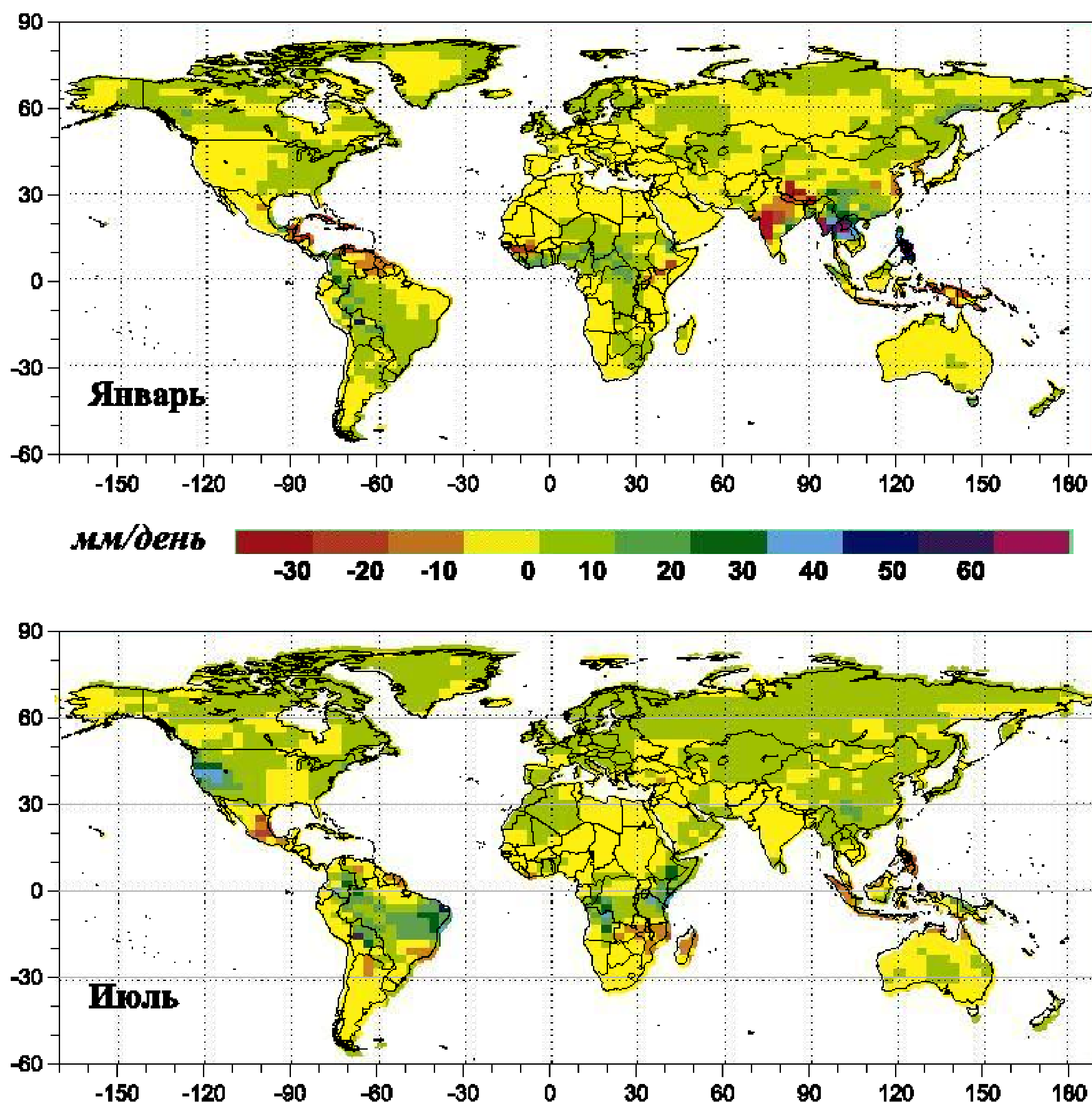
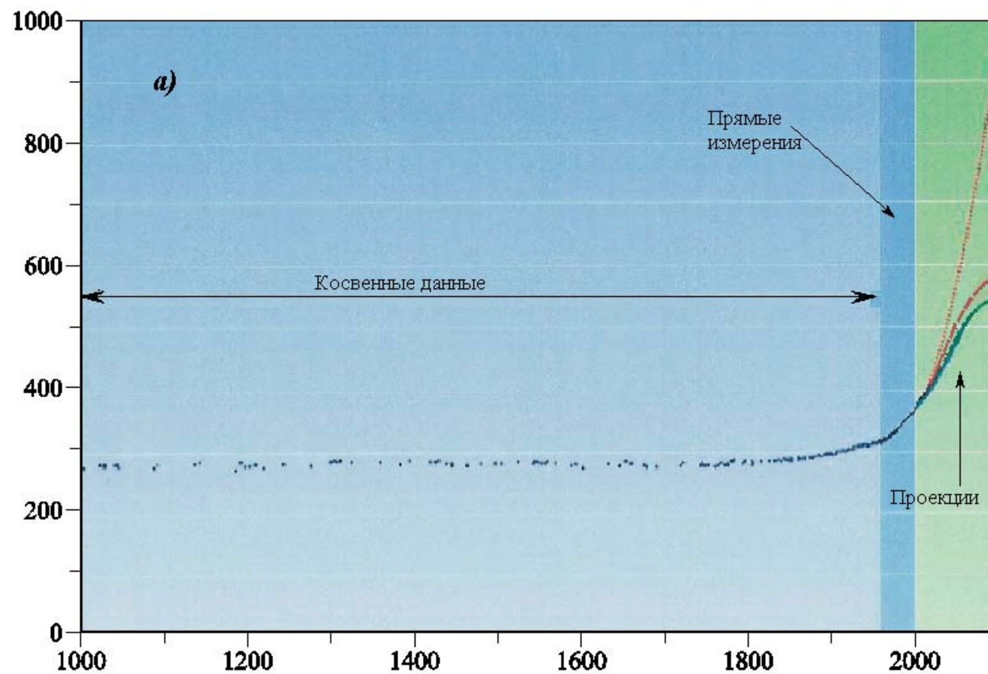


Рис. 7 Оценка ожидаемых изменений атмосферных осадков к 2050 году по отношению к нормам за 1961 – 1990 годы.

В заключение рассмотрим (Рис. 8) общую картину прошлых и возможных в будущем изменений концентрации парниковых газов и соответствующих им изменений температуры воздуха у поверхности. Показаны изменения, соответствующие двум экстремальным, высокому и низкому, и одному умеренному сценарию эмиссии. Соответствующие им изменения температуры воздуха, полученные по результатам моделирования с несколькими лучшими моделями и многократными интегрированиями, образуют веер результатов с возможным ростом температуры к 2100 году от 1. до 5.8^0C и около 2.5^0C при умеренном сценарии. Обратим внимание на

взрывной характер уже начавшихся и предстоящих изменений по сравнению с предшествующим тысячелетием!

Ясно, что человечеству впервые предстоит встретиться со столь быстрыми изменениями климата.



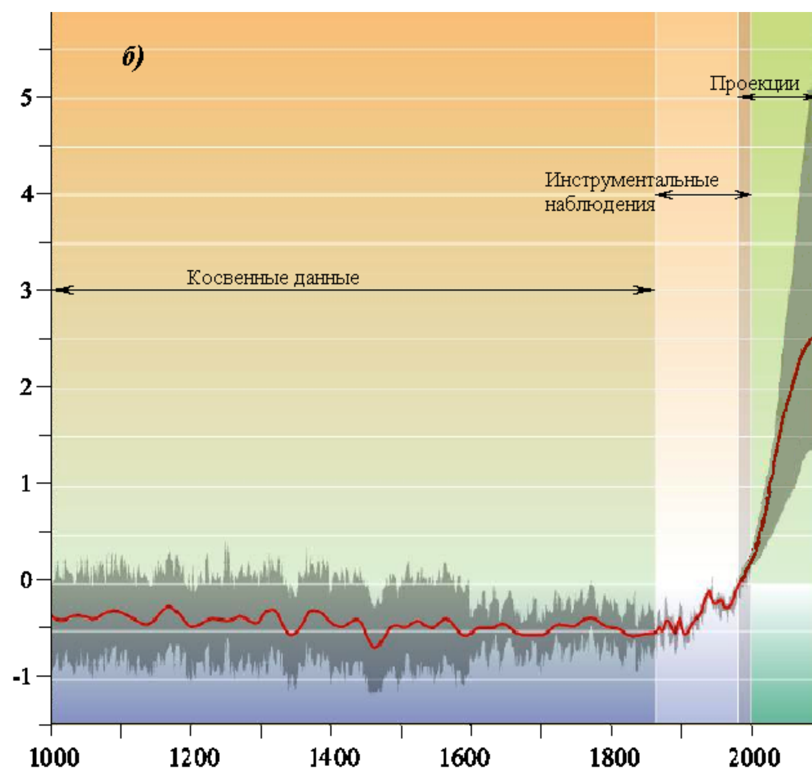


Рис. 8 Наблюдаемые и ожидаемые изменения концентрации (а) парниковых газов (в единицах эквивалентной концентрации углекислого газа) и глобально осредненной температуры приземного воздуха (б).

Теперь попытаемся оценить, насколько можно смягчить надвигающиеся изменения. Для этого рассмотрим, что произойдет, если бы удалось осуществить сценарий эмиссии парниковых газов, позволяющий добиться стабилизации концентрации парниковых газов на уровне 450 – 1000 ppm через 100 – 300 лет (см. Рис. 9, вертикальные оси не шкалированы, так как выводы не достаточно точны). Для этого пришлось бы добиться снижения эмиссии в 3 – 5 раз за 100 – 200 лет (что мало вероятно!). В этом случае температура будет продолжать расти в течении 100 – 150 лет и стабилизируется на уровне на 2 – 3^0С выше теперешней. Уровень океана будет повышаться много веков в результате таяния льда.

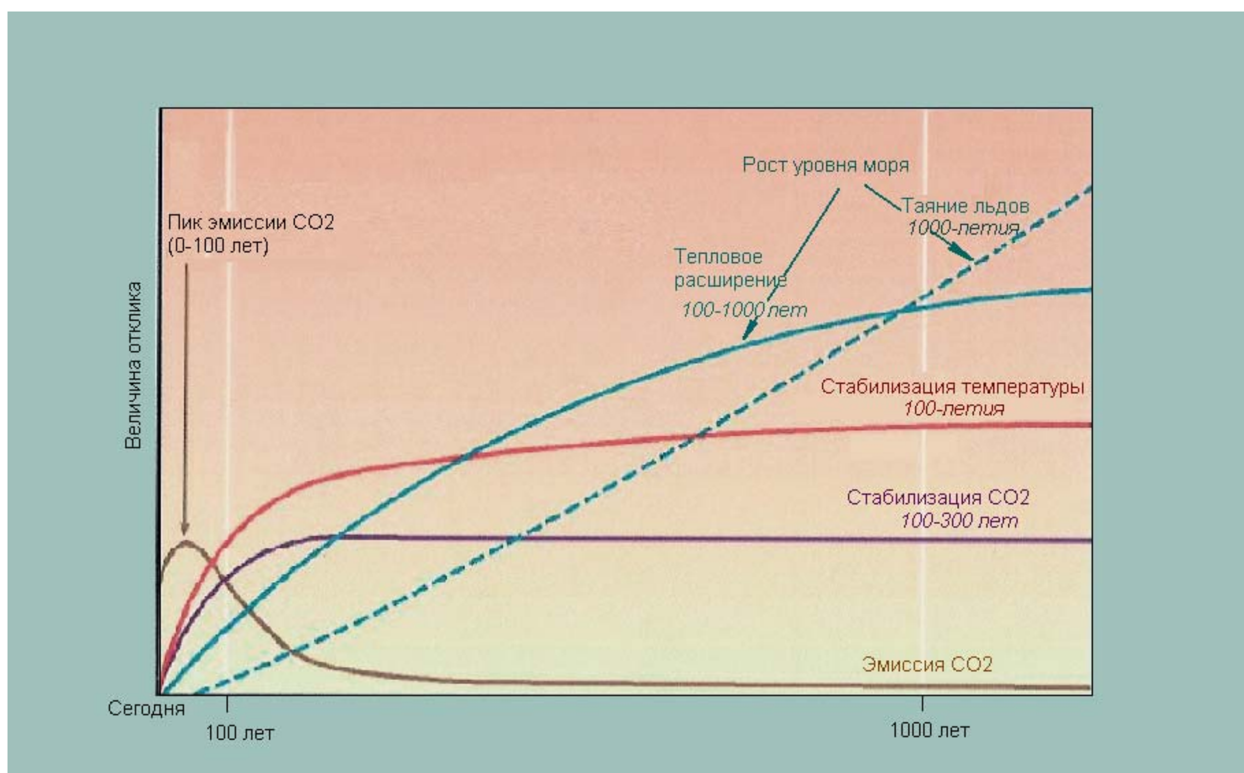


Рис. 9 Требуемые для стабилизации изменения эмиссии и соответствующие им ожидаемые изменения концентрации парниковых газов и глобально осредненной температуры приземного воздуха и уровня мирового океана.

Таким образом, даже самые героические меры не способны радикально изменить ситуацию в близком будущем и остановить начавшийся процесс потепления. Однако эти меры необходимы в интересах будущих поколений.